

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 3900467 A1

⑮ Int. Cl. 5:
H 01 S 3/086
H 01 S 3/04
G 02 B 5/08
G 02 B 26/00

⑯ Aktenzeichen: P 39 00 467.8
⑯ Anmeldetag: 10. 1. 89
⑯ Offenlegungstag: 26. 7. 90

DE 3900467 A1

⑦ Anmelder:

Trumpf Lasertechnik GmbH, 7257 Ditzingen, DE

⑦ Vertreter:

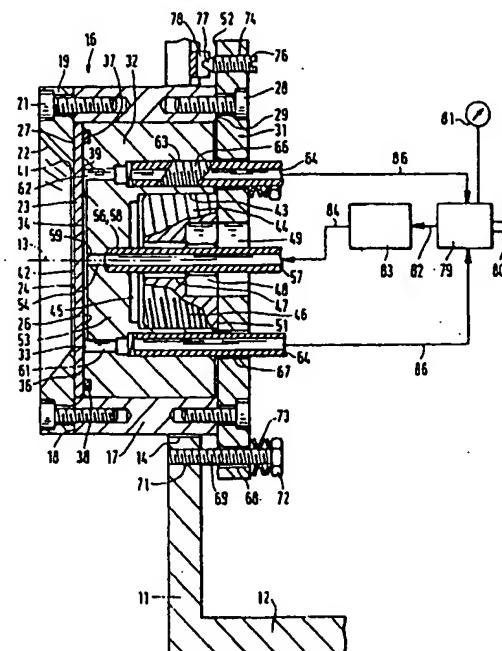
Kinkel, U., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 7032 Sindelfingen

⑦ Erfinder:

Giesen, Adolf, Dr.rer.nat., 7253 Renningen, DE; Bea,
Martin, Dipl.-Phys., 7000 Stuttgart, DE; Borik, Stefan,
Dipl.-Phys., 7022 Leinfelden-Echterdingen, DE

⑮ Laserspiegelkopf

Für die Qualität des Modes bei Leistungslasern ist die Gestalt des Spiegels ein wesentlicher Faktor. Außerdem hat ein Leistungslaser meistens mehrere Spiegel. Die Gestalt der Spiegel kann sich während des Betriebs zum Beispiel durch Erwärmung ändern. Erfindungsgemäß sieht man auf der Rückseite des Spiegels einen Hohlraum vor und gibt in diesen Hohlräumen mehr oder weniger Druck, so daß unter dessen Einfluß sich die Geometrie des Spiegels ändert.



DE 3900467 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Bei Hochleistungslasern besteht seit jeher der Wunsch nach dem TEM 00-Mode. Einen Anteil an der eventuellen Verzerrung des Strahls haben die Spiegel. Die Oberfläche der Spiegel verformt sich u. a. dadurch, daß sie sich erwärmen. Zwar kühlte man die Spiegel. Trotzdem kann die Kühlung nicht ideal sein. Außerdem kann es geschehen, daß bei einer Mehrzahl von verwendeten Spiegeln die Kühlung unterschiedlich ist, so daß die Verformung der Spiegel nicht nur vorhanden sondern unterschiedlich vorhanden ist. Die konstruktiven Maßnahmen, um die Kühlflüssigkeit vom Lasergas zu trennen, sind enorm.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung anzugeben, mit der man den Laserstrahl optimieren kann, wenn seine Form sich in ungünstiger Weise ändert. Diese Nachbesserung soll auch während des Betriebs des Lasers möglich sein.

Erfundungsgemäß wird diese Aufgabe durch die aus dem kennzeichnenden Teil des Hauptanspruchs ersichtlichen Merkmale gelöst. Man ist nun in der Lage, durch Überdruck konvexe Spiegel oder durch Unterdruck konkave Spiegel herzustellen. Der zusätzliche Aufwand ist minimal.

Durch die Merkmale des Anspruchs 2 erreicht man, daß man einen gut wärmeleitenden Spiegel hat, der vergleichsweise leicht verbogen werden kann. Wenn er nicht bedämpft ist, z.B. mit einer Goldschicht, so wird diese weder auf Zug noch auf Druck beansprucht.

Durch die Merkmale des Anspruchs 3 erreicht man einen genügend dünnen Spiegel mit genügend hoher Fläche, so daß der Druck technisch ohne weiteres beherrschbar ist, der die Durchbiegung erzeugen muß.

Durch die Merkmale des Anspruchs 4 erspart man Zwischenglieder, der Druck drückt direkt auf die ganze freiliegende Rückseite und es ist physikalisch auch eher vorhersagbar, wie sich der Spiegel verformen wird. Die Dichtung liegt im Einspannbereich des Spiegels und stört das Verhalten des Spiegels nicht. Außerdem ist dann der Dichtungsaufwand am geringsten.

Durch die Merkmale des Anspruchs 5 kann man nicht nur den Spiegel aus- oder einbeulen, sondern man kann ihn auch noch zusätzlich kühlen. Solche Fluids gibt es ja auf dem Gebiet der Hochleistungslaser ohnehin, wie z.B. Wasser, Öl od. dgl. Man braucht hier keinen besonderen Fluid-Vorratsbehälter und auch keine zusätzlichen Leitungen, Druckerzeuger anderer Art od. dgl.

Durch die Merkmale des Anspruchs 6 erreicht man, daß der am wärmsten werdende Bereich des Spiegels am besten gekühlt wird, wobei davon auszugehen ist, daß etwa 1,5% der Laserleistung im Spiegel als Verlustleistung bleibt und diesen erwärmt.

Durch die Merkmale des Anspruchs 7 erreicht man ein überschaubares, regelmäßiges und in der Wirkung vorhersagbares Strömungsbild des Fluids.

Durch die Merkmale des Anspruchs 8 erreicht man ein besonders einfaches Fluid, das zugleich auch nicht kompressibel ist und trotzdem umweltfreundlich ist.

In der Erprobung hat sich gezeigt, daß Spiegel mit Kennwerten gemäß dem Anspruch 9 ausgezeichnet einsetzbar sind.

Durch die Merkmale des Anspruchs 10 kann man in einer einzigen Masche den Druck erzeugen, kühlen und den Druck einstellen.

Durch die Merkmale des Anspruchs 11 erhält man

eine reproduzierbare Anzeige für die Ausbeulung oder Einbeulung des Spiegels.

Durch die Merkmale des Anspruchs 12 erspart man sich Umrechenarbeiten.

Durch die Merkmale des Anspruchs 13 erhält man ein repräsentatives Maß für die positive oder negative Ausbeulung.

Durch die Merkmale des Anspruchs 14 erhält man ein für optisch arbeitende Geräte gut verwendbares Maß.

Durch die Merkmale des Anspruchs 15 kann man sowohl einen zerstreuen als auch einen sammelnden Spiegel betreiben. Im Falle von "und" kann man alle Zustände zwischen diesen beiden Arten stufenlos herstellen.

Durch die Merkmale des Anspruchs 16 erreicht man technisch leicht herstellbare Drücke, so daß kein zu großer Aufwand notwendig wird.

Durch die Merkmale des Anspruchs 17 kann man einen Teil der Umlenkspiegel nach alter Bauweise herstellen.

Durch die Merkmale des Anspruchs 18 minimiert man die Kosten weiter und kann gegebenenfalls bei schon vorhandenen Lasern nachträglich die Erfindung einbauen ohne sonst den Laseraufbau zu stören.

Durch die Merkmale des Anspruchs 19 kann man Verbiegungsformen des Spiegels erreichen, die von denjenigen abweichen, die bei Spiegeln gleicher Materialdicke auftreten.

Nunmehr werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 einen radialen Querschnitt durch einen Spiegelkopf im Maßstab 1 : 1 mit schematischer Schaltung.

Fig. 2 eine schematische Darstellung des Laserstrahlverlaufs und

Fig. 3 einen Querschnitt durch einen Spiegel mit nicht konstanter Dicke.

Eine Wand 11 eines im übrigen abgebrochen gezeichneten Flansches 12 hat koaxial zur geometrischen Längsachse 13 eine Durchgangsbohrung 14. In dieser

sitzt ein Spiegelkopf 16. Ein Gehäuse 17 ist kreiszylindrisch zur Längsachse 13 und steckt gasdicht in der Durchgangsbohrung 14. Auf seine linke Stirnseite 18, die koaxial und radial liegt, ist ein Fassungsring 19 mit Schrauben 21 aufgeschraubt. Der Fassungsring 19 hat eine nach außen gerichtete Fase 22. Ein Spiegel 23 hat eine Vorderseite 24 und eine Rückseite 26. Die Vorderseite 24 ist poliert. Sein Randbereich 27 ist bis auf 5 cm Durchmesser vom Fassungsring 19 abgedeckt, so daß die im Durchmesser darüber hinausstehenden 1,5 cm

zur sicheren Fassung zur Verfügung stehen. Der koaxial zur geometrischen Längsachse 13 verlaufende Laserstrahl ist 30 mm im Durchmesser, so daß die nicht abgedeckte Vorderseite 24 lediglich zu 75% vom Laserstrahl beaufschlagt wird und Randeigenschaften des Spiegels 23 vernachlässigt werden können.

Mittels Schrauben 28 ist auf die rückseitige Stirnfläche 29 des Gehäuses 17 ein im wesentlichen koaxialer Deckel 31 aufgeschraubt, der — wie der Fassungsring 19 und das Gehäuse 17 — recht biegesteif ist. Im Gehäuse 17 rechts vom Spiegel 23 und links vom Deckel 31 befindet sich ein metallischer Druckkörper 32, der einen topfförmigen Querschnitt hat. Die Außenseite 33, so weit sie der Rückseite 28 gegenüberliegt, hat von dieser einen Abstand, so daß hier ein Hohlräum 33 von etwa

1 mm Dicke und einem Radius von 5 cm entsteht. So weit der Druckkörper 32 in seinem äußeren Randbereich dem Fassungsring 19 gegenüberliegt, springt die Außenfläche 36 um den vorher erwähnten 1 mm weiter

nach links. Der Druckkörper 32 ist ein um die geometrische Längsachse 13 erzeugter Rotationskörper, der gemäß der Zeichnung koaxial zur geometrischen Längsachse 13 ist.

In die Außenfläche 36 ist von links eine Nut 37 eingeschlagen, in der ein O-Ring 38 liegt. Wird der Druckkörper 32 relativ zum Gehäuse 17, Spiegel 23 und Fassungsring 19 nach links gedrückt, dann dichtet nicht nur der O-Ring 38 flüssigkeitsdicht und gasdicht. Vielmehr entsteht zwischen der Ecke 39, gebildet durch den Sprung zwischen Außenfläche 34 und Außenfläche 36, und der Ecke 41, gebildet durch die rechte Stirnfläche des Fassungsringes 19 und der etwa 1 mm hohen Durchgangsbohrung 42 eine exakte Einspannung des Spiegels 23.

Die Außenfläche des zentralen und koaxialen Hohlraums 43 des Druckkörpers 32 hat ein Innengewinde 43. In dieses ist eine Schraube 44 mit Außengewinde 46 geschraubt. Die Schraube 44 hat eine zentrische Durchgangsbohrung 47 und einen Innensechskant 48, der wegen eines Zentrallochs 49 des Deckels 31 von rechts her zugänglich ist. Schraubt man die Schraube 44 aus dem Innengewinde 43 heraus, dann drückt die rechte Stirnfläche 51 der Schraube 44 gegen die linke Fläche 52 des Deckels 31 und dadurch wird der O-Ring 38 samt Außenfläche 36, Randbereich 27 gegen die rechte Stirnfläche des Fassungsringes 19 gepreßt. Der Druckkörper 32 hat in seinem Boden 53 eine Zentralbohrung 54. In ihrem rechten Bereich hat diese ein Innengewinde 56, in das ein Zentralrohr 57 mit seinem Außengewinde 58 geschraubt ist. Das Zentralrohr 57 durchquert die Durchgangsbohrung 47 berührungslos. Die Mündung 59 der Zentralbohrung 54 mündet in den Hohlraum 33. Radial vor der Außenfläche 36 hat der Druckkörper 32 Außenbohrungen 61, deren Mündung 62 ebenfalls mit dem Hohlraum 33 kommuniziert. Die Außenbohrungen 61 haben Innengewinde 63, in die Außenrohre 64 mit deren Außengewinde 66 geschraubt sind. Die Außenrohre 64 durchqueren den Deckel 31 in passenden Durchgangsbohrungen 67, so daß die Außenrohre 64 den Druckkörper 32 am Rotieren hindern, wenn die Schraube 44 herausgeschraubt wird.

Um die gesamte in der Durchgangsbohrung 14 sitzende Einheit in sich verstetzen zu können, hat der Deckel 31 in seinem über das Gehäuse 17 hinausstehenden Rand drei winkelmäßig gleich verteilte Durchgangsbohrungen 68, in die Schrauben 69 eingeschraubt sind, deren Gewinde in Gewindebohrungen 71 sitzen. Zwischen dem Kopf 72 und dem Deckel 31 sitzen Tellerfedern 73. Durch die drei winkelmäßig gleichmäßig verteilten Schrauben 69 wird damit der Deckel 31 und somit der ganze Spiegelkopf 16 nach links gedrängt. In ebenfalls gleichmäßiger winkelmäßiger Verteilung sind im Randbereich des Deckels 31 drei Gewindedurchgangsbohrungen 74 vorgesehen, in die Einstellschrauben 76 eingeschraubt sind, welche mit ihrem Fuß 77 gegen Steine 78 drücken, welche an der Wand 11 befestigt sind. Durch Verdrehen der drei Einstellschrauben 76 kann man die geometrische Längsachse 13 des Spiegelkopfs 16 insgesamt verstetzen. Mit einem Rad 80 kann in einem Druckerzeuger 79 der Druck bis zu 8 Bar verstetzt werden. Der Druck, geeicht in Brennweite-Werten, wird in einer Anzeige 81 angezeigt. Der Druckerzeuger 79 liefert über eine Leitung 82 Wasser an einen Kühler 83, der dieses Wasser über eine Leitung 84 zu dem Zentralrohr 57 leitet. Aus dessen Mündung 59 gelangt es in den Hohlraum 33. Für diesen Fall des Überdrucks wird der Spiegel 23 bei 8 Bar um 35 µm dort nach links gedrückt, wo ihn die geometrische Längsachse 13 durchdringt. Das

Wasser fließt im Hohlraum 33 scheibenförmig nach außen bis zu den Mündungen 62 und gelangt dann wieder über die Außenrohre 64 und Leitungen 86 zum Druckerzeuger 79 zurück.

5 Gemäß Fig. 2 handelt es sich um einen dreifach gefalteten Laser mit einem 100%-Endspiegel 87 und einem teilweise durchlässigen Endspiegel 88. Drei Spiegelköpfe sind von üblicher Form und es ist ein Spiegelkopf 16 gemäß der Erfindung vorgesehen. Mit diesem allein wird der Laserstrahl 91 korrigiert.

10 Gemäß Fig. 3 hat man einen Spiegel 92, dessen Vorderseite 93 nach wie vor planeben und poliert ist. Seine Rückseite ist im Bereich des Fassungsrandes 94 nach wie vor parallel zur Vorderseite 93. Soweit er jedoch einwärts von den Ecken 39, 41 liegt, hat er eine konkav geformte Rückseite 96, deren dünnste Stelle in der geometrischen Längsachse 13 liegt.

15 Die Durchbiegung der Spiegel 23, 92 kann man am Rad 78 von Hand einstellen. Man kann aber auch eine nicht dargestellte Rückkopplungsvorrichtung verwenden, die die Qualität des Laserstrahls 91 erfaßt und während des Laufbetriebs des Lasers den Druckerzeuger 79 so regelt, daß der Druck den Spiegel 23, 92 nach Bedarf einbeult oder ausbeult.

Patentansprüche

1. Vorrichtung für einen Spiegelkopf von Lasern hoher Leistung, mit einem metallischen Spiegel, der eine spiegelnde Vorderseite und eine Rückseite aufweist, mit einer ersten Anpreßfläche für die Vorderseite des Außenrands des Spiegels, mit einer zweiten Anpreßfläche für die Rückseite des Außenrands des Spiegels und mit einer Fluid-Leitungsvorrichtung im vom Spiegel abgewandten Bereich des Laserkopfs, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) Der Spiegel ist eine im Verhältnis zu seinem freiliegenden Durchmesser dünne Scheibe.
- b) Im Spiegelkopf auf der Rückseite des Spiegels ist ein Hohlraum vorgesehen.
- c) Der Hohlraum kommuniziert mit der Fluid-Leitungsvorrichtung.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegel aus einer Kupferlegierung ist und daß seine spiegelnde Vorderseite poliert ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis 7,5 : 2 ± 30% ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückseite direkt die eine Begrenzungswand des Hohlraums darstellt und daß im Randbereich des Spiegels eine Dichtung vorgesehen ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl zumindest eine Fluid-Zuleitungsvorrichtung als auch zumindest eine Fluid-Ableitungsvorrichtung vorgesehen ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Fluid-Zuleitungsvorrichtung ihre Mündung im Mittlbereich der Rückseite des Spiegels hat und die Mündung der Fluid-Ableitungsvorrichtung im Randbereich des Hohlraums liegt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Fluid-Ableitungsvorrichtungen vorgesehen sind und daß die Mündungen der

Fluid-Ableitungsvorrichtungen winkelmäßig regel-mäßig angeordnet sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekenn-zeichnet, daß das Fluid Wasser ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekenn-⁵ zeichnet, daß die Elastizität des Spiegels einen Be-trag hat, bei dem sich die Mitte des Spiegels um Beträge im unteren Deka-Mikrometerbereich ver-biegt, wenn der volle Fluideindruck anliegt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekenn-¹⁰ zeichnet, daß die Fluid-Zuleitungsvorrichtungen an einen Druckerzeuger und an eine Kühlvorrichtung angeschlossen sind und daß eine Druckeinstellvor-richtung vorgesehen ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch ge-¹⁵ kennzeichnet, daß eine Druck-Anzeigevorrichtung vorgesehen ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch ge-²⁰ kennzeichnet, daß die Anzeigevorrichtung in Spie-gel-Verbiegezustands-Werten geeicht ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch ge-²⁵ kennzeichnet, daß diese Werte die Ausbeulung des Spiegels in seinem Mittenbereich sind.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch ge-³⁰ kennzeichnet, daß diese Werte die Brennweite des Spiegels sind.

15. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch ge-³⁵ kennzeichnet, daß der Druckerzeuger negativen und/oder positiven Druck erzeugt.

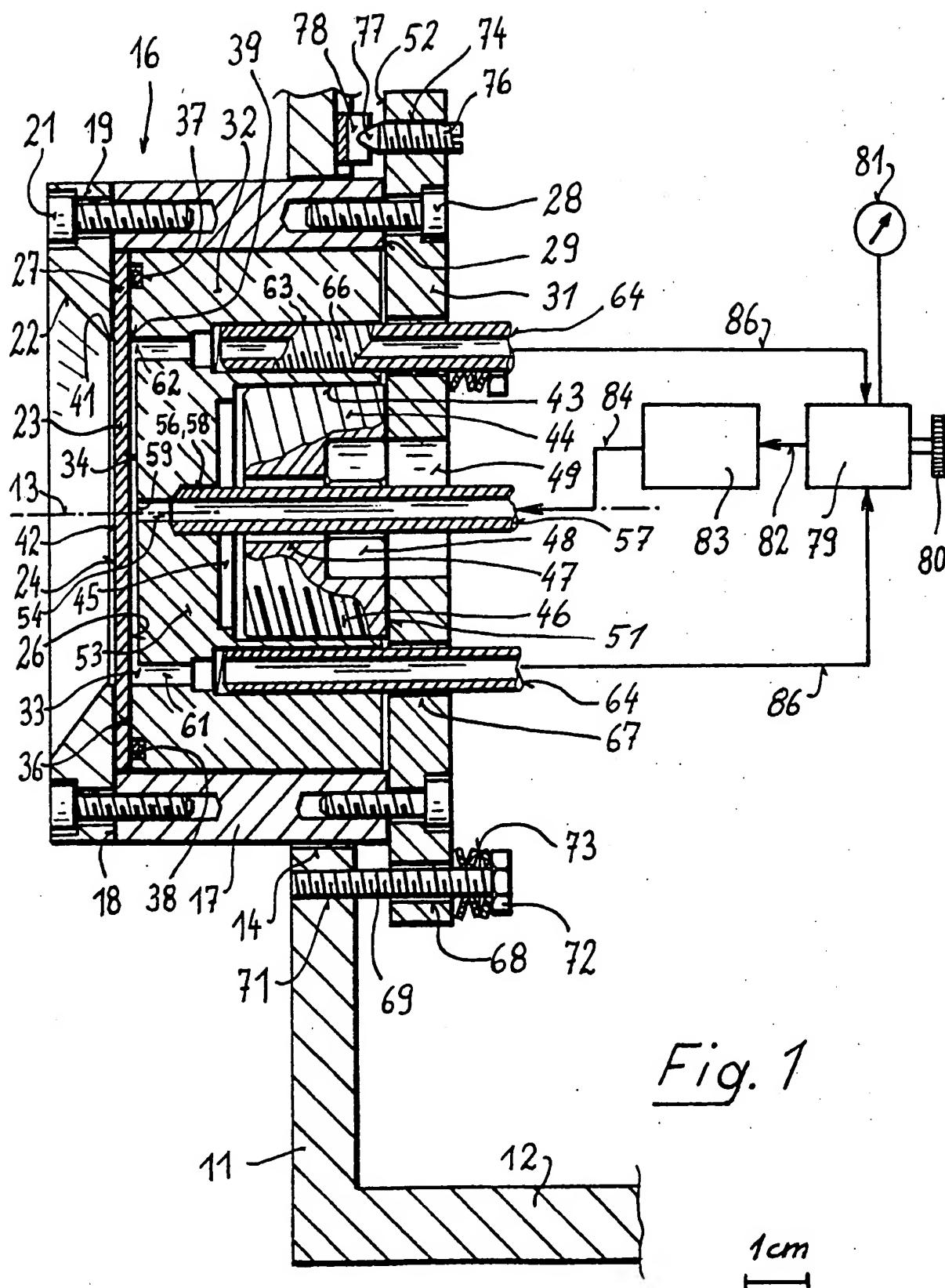
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch ge-⁴⁰ kennzeichnet, daß der positive Druck im Bar-bereich liegt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekenn-⁴⁵ zeichnet, daß bei einem mehrere Umlenkspiegel aufweisenden Laser nicht alle Spiegel erfindungs-gemäß gestaltet sind.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch ge-⁵⁰ kennzeichnet, daß nur einer dieser Spiegel erfin-dungsgemäß gestaltet ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekenn-⁵⁵ zeichnet, daß die Dicke des Spiegels zumindest im Mittenbereich nicht konstant ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



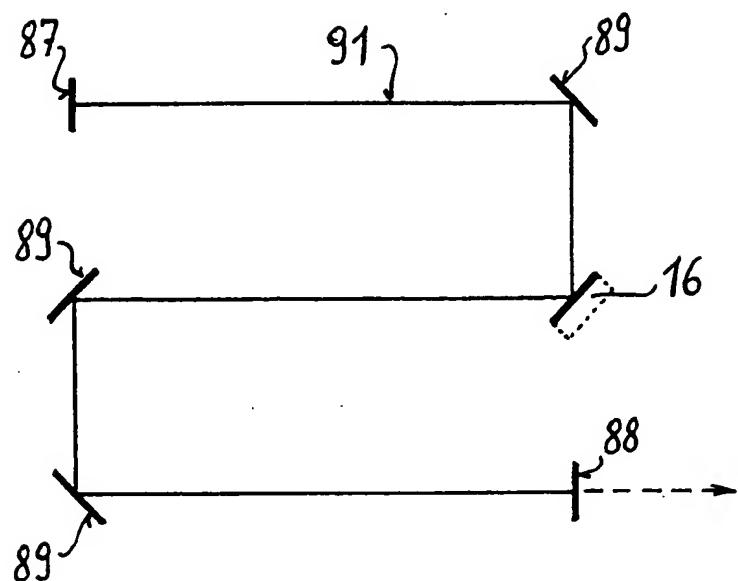


Fig. 2

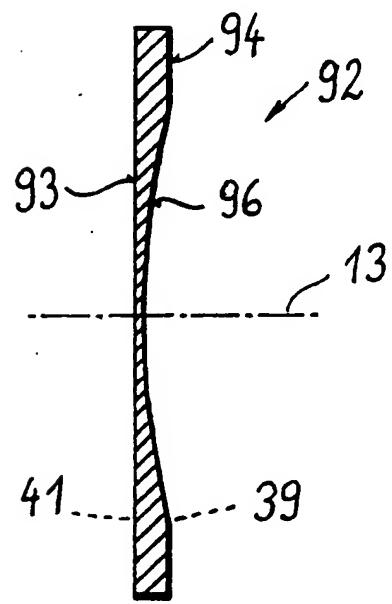


Fig. 3